

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS
NATIONAL BOARD OF PATENTS AND REGISTRATION

WIPO 3 / 00639

Helsinki 16.10.2003

ETUOIKEUSTODISTUS
PRIORITY DOCUMENT

REC'D 04 NOV 2003

WIPO

PCT



Hakija
Applicant

Valtion Teknillinen Tutkimuslaitos
Espoo

Patenttihakemus nro
Patent application no

20021565

Tekemispäivä
Filing date

02.09.2002

Kansainvälinen luokka
International class

G01R

Keksinnön nimitys
Title of invention

"Menetelmä ja järjestelmä teräksen karkaisusyvyyden määrittämiseksi"

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

Hakemus on hakemusdiaariin 19.02.2003 tehdyn merkinnän mukaan
siirtynyt Stresstech Oy:lle, Vaajakoski.

The application has according to an entry made in the register
of patent applications on 19.02.2003 been assigned to Stresstech Oy,
Vaajakoski.

Täten todistetaan, että oheiset asiakirjat ovat tarkkoja jäljennöksiä
Patentti- ja rekisterihallitukselle alkuaan annetuista selityksestä,
patenttivaatimuksista, tiivistelmästä ja piirustuksista.

This is to certify that the annexed documents are true copies of the
description, claims, abstract and drawings originally filed with the
Finnish Patent Office.


Pirjo Kalla
Tutkimussihteeri

Maksu 50 €
Fee 50 EUR

Maksu perustuu kauppa- ja teollisuusministeriön antamaan asetukseen 1027/2001
Patentti- ja rekisterihallituksen maksullisista suoritteista muutoksineen.

The fee is based on the Decree with amendments of the Ministry of Trade and Industry
No. 1027/2001 concerning the chargeable services of the National Board of Patents and
Registration of Finland.

Osoite: Arkadiankatu 6 A Puhelin: 09 6939 500 Telefax: 09 6939 5328
P.O.Box 1160 Telephone: + 358 9 6939 500 Telefax: + 358 9 6939 5328
FIN-00101 Helsinki, FINLAND

BEST AVAILABLE COPY

Menetelmä ja järjestelmä teräksen karkaisusyvyyden määrittämiseksi

Keksinnön kohteena on patenttivaatimuksen 1 johdannon mukainen menetelmä teräksen karkaisusyvyyden määrittämiseksi. Lisäksi keksinnön kohteena on patenttivaatimuksen 11 mukainen järjestelmä teräksen karkaisusyvyyden määrittämiseksi.

- 5 Tämänkaltaisia mittausmenetelmiä ja -järjestelmiä käytetään terästuotteiden, kuten teräsakselien ja -levyjen, karkaisusyvyyden määrittämiseen.

Materiaalien ja komponenttien suurimmat mekaaniset rasitukset kohdistuvat niiden pintakerroksiin. Pinnan ja sen läheisen alueen kovuuden lisäämiseksi on käytössä useita menetelmiä; esimerkiksi teräksen erilaiset karkaisumenetelmät. Teräksen karkaisusyvyyden määrittäminen tunnetun tekniikan mukaisilla menetelmillä vaatii kappaletta vaurioittavaa työstämistä ja on siten kallista ja aikaavievää. Tunnettu tekniikka käsittää myös ns. NDE- (Non Destructive Evaluation) menetelmiä, joiden avulla tuotantokappaleiden karkaisusyvyyttä voidaan mitata nopeammin ja ainetta rikkomatta. Tällaisia NDE-menetelmiä on esitetty esim. seuraavissa julkaisuissa:

- 15 EP 0 100 009

"Characterization of Hardening Depth by Barkhausen Noise Measurement", G. Bach, K. Goebbels & W. A. Theiner, Materials Evaluation 46, 1988, The American Society for Nondestructive Testing, Inc.

- 20 "Evaluation of case depth on steels by Barkhausen noise measurements", M. Dubois & M. Fiset, Materials Science and Technology Vol. 11, 1995

"Evaluation of Induction Hardened Case Depth Using Magnetic Barkhausen Emission", S. Vaidyanathan, V. Moorthy, T. Jayakumat & Baldev Raj, Indira Gandhi Center for Atomic Research, 1998

- 25 Magneettisen Barkhausen kohinan (MBK) soveltuvuutta ferromagneettisten materiaalien metallurgisten, mikrorakenteeseen liittyvien ja mekaanisten ominaisuuksien NDE-mittauksiin on tutkittu laajasti. Tutkimuksissa on keskitytty mittaamaan materiaalien sisäisten ominaisuuksien aiheuttamaa muutosta MBK:aan, jotta löydettäisiin kaupallisesti hyödynnettäviä korrelaatioita materiaaliominaisuuksien ja MBK:n välillä. Barkhausen kohinan on havaittu riippuvan mm. ferromagneettisen materiaalin raekoosta,

koostumuksesta sekä perliitti- ja lamellirakenteista. Teräksessä tärkeä koostumukseen liittyvä tekijä on hiilen määrä ja jakautuma. Mekaanisista ominaisuuksista ainakin kovuuden, jäännösjännitysten ja materiaalin väsymisen on osoitettu vaikuttavan MBK:aan.

5 Barkhausen kohinamittausten fysikaalisen perustan muodostaa se, että ferromagneettisen materiaalin mekaanisiin ominaisuuksiin eli esim. kovuuteen vaikuttavat tekijät kuten mikrorakenne, koostumus ja kidevirheet vaikuttavat voimakkaasti myös materiaalien magneettisiin ominaisuuksiin kuten hystereesikäyrän muotoon, koersitiivivoimaan ja remanenssiin. Ferromagneettinen kappale koostuu
10 alkeisalueista eli ns. Weissin alueista, joissa kaikilla alkeismagneeteilla on sama suunta. Kappaletta magnetoitaessa magnetoituma kasvaa pienillä kentänvoimakkuuksilla kentän suuntaisten alkeisalueiden koon kasvun seurauksena ja lähestyttäessä kyllästysmagnetoitumaa yhä enemmän alkeisalueiden magnetoituman kiertyessä ulkoisen kentän suuntaan. Materiaalivirheet pyrkivät pääsääntöisesti rajoittamaan
15 alkeisalueiden kasvuun liittyvien Blochin seinämien liikkumista materiaalisia. Magneetikentän voimakkuuden kasvaessa Blochin seinämät saavat riittävästi energiaa vapautuakseen kidevirheistä ja epäpuhtauksista ja magnetisaatio kasvaa hypähdysin. Magneettisen Barkhausen kohinan mittaaminen perustuu näiden äkillisten, irreversiibelien magnetoitumamuutosten mittaamiseen kappaleen pinnalla havaittavien
20 magneettivuon muutosten avulla. Koersitiivisen voiman läheisyydessä magnetoituma muuttuu nopeasti, jolloin syntyy paljon MBK:aa.

Tunnetun tekniikan mukaan mittauskohteeseen muodostetaan esim. sinimuotoisesti muuttuva magneetikenttä, joka aiheuttaa MBK:aa. Magneetikenttä muodostetaan tyypillisesti magnetointikelalla, jolla on tyypillisesti U-muotoinen ferro- tai
25 ferrimagneettinen sydän, jonka kärjet koskettavat mittauskohdetta. Muodostuvaa MBK:aa mitataan tyypillisesti magnetometrillä, joka sijoitetaan magnetointikelan sydämen kärkien väliin ja kosketuksiin mittauskohteen pinnan kanssa. Magnetometri on tyypillisesti asetettu siten, että sen käämilangat ovat olennaisesti yhdensuuntaiset mittauskohteen kosketuspintaan nähden. MBK ja karkaisusvyvyys määritetään
30 magnetometriin indusoituvan jännitteen perusteella.

Suuri osa Barkhausen kohinasta syntyy magneetikentän voimakkuuden ollessa lähellä materiaalille ominaista koersitiivivoimaa. Mitattaessa teräksen karkaisusvyvyttä MBK:n

avulla on tärkeää kyetä erottamaan karkaistun ja karkaistumattoman alueen synnyttämä Barkhausen kohina. Tunnetussa tekniikassa on käytetty kahta menetelmää. Molemmissa menetelmissä käytetään niin suurta magnetoivaa kenttää, että näytteen kyllästysmagnetoituma saavutetaan. Ensimmäisessä menetelmässä MBK:n aiheuttama jännite mitataan magnetointikentän voimakkuuden funktiona. Mikäli karkaistun ja karkaistumattoman teräskerroksen koersitiivivoimat eroavat riittävästi toisistaan, voidaan mittausdatassa erottaa kaksi erillistä piikkiä, joiden maksimiampplitudien suhdetta on käytetty karkaisusyvyyden määrittämiseen. Mekaanisesti kovemman karkaistun kerroksen koersitiivivoima on yleensä suurempi kuin karkaistumattoman materiaalin, joten suuremmalla magneettikentän voimakkuudella esiintyvä kohinapiikki liittyy karkaistuun kerrokseen. Yleensä karkaistussa teräksessä syntyy selvästi vähemmän Barkhausen kohinaa kuin karkaisemattomassa. Toisessa menetelmässä mittauksen taajuuskaistan alaraja valitaan siten, että materiaalin sisältä karkaistumattomasta alueesta tuleva kohina on tällä taajuusalueella vaimentunut havaitsemattomaksi. Tätä tilannetta vastaavaa suodattimella asetettua taajuuskaistan alarajaa käytetään karkaisusyvyyden määrittämiseen.

Tunnetun tekniikan heikkoutena on se, että ensimmäisessä menetelmässä mitataan myös karkaistun alueen kohinaa, koska sillä keskeinen osuus karkaisusyvyyttä määritettäessä. Tällöin mittaustulokseen vaikuttavat myös karkaisusyvyyteen liittymättömien ominaisuuksien vaihtelut, kuten materiaalin pintajännitys ja mahdolliset hiilipitoisuuden vaihtelut, esim. hiilenkatoalueet. Pintakerroksen alkeisalueiden dynamiikkaan demagnetointikentillä ja alkeisalueiden sulkeumilla voi olla suurempi vaikutus kuin materiaalin mikrorakenteella. Lisäksi ensimmäinen menetelmä toimii vain, jos eri alueiden synnyttämät kohinapiikit ovat niin kaukana toisistaan, että niiden amplitudit pystytään määrittämään luotettavasti. Toinen menetelmä on melko epätarkka, koska se perustuu heikon kohinasignaalin hävittämiseen. Tätä ei voida tehdä tarkasti ja menetelmää ei olekaan juuri käytetty.

Taajuudella f vaihtelevan magneettikentän voimakkuus $H(x)$ vaimenee homogeenisessa sähköä johtavassa magneettisessa materiaalissa alkuarvosta $H(0)$ etäisyyden x kasvaessa likipitään seuraavasti:

$$H(x) = H(0) \exp(-x/\delta) \quad ; \quad \delta = \sqrt{1/(\pi f \mu \sigma)} \quad ,$$

missä δ on tunkeutumisvyvyys, μ on materiaalin magneettinen permeabiliteetti ja σ on sähkönjohtavuus. Magnetoivan kentän tulee tunkeutua riittävän syvälle tutkittavaan näytteeseen, jotta MBK:aa muodostuu myös syvemmillä olevassa karkaistumattomassa kerroksessa. Tämän vuoksi magnetoinnissa on käytettävä matalaa taajuutta. Myös karkaistumattomassa kerroksessa syntynyt MBK vaimenee eksponentiaalisesti karkaisusyvyyden funktiona, joten suuria karkaisusyvyyksiä mitattaessa on käytettävä matalataajuisia mittauskaistoja. Osa tunnetun tekniikan mittauksista on tehty niin korkeita analyysitaajuuksia käyttäen, että mitattu MBK on ollut peräisin pelkästä pintakerroksesta.

- 10 Keksinnön tarkoituksena on aikaansaada aivan uudentyyppinen menetelmä teräksen karkaisusyvyyden määrittämiseksi, jonka avulla teräksen karkaisusyvyyttä voidaan mitata tunnettua tekniikkaa tarkemmin ja suuremmilla karkaisusyvyyksillä.

Keksintö perustuu uuteen magnetointitapaan ja siihen, että mittaustuloksia käsitellään uudella tavalla. Näiden seurauksena menetelmän herkkyys karkaisusyvyydestä riippumattomien, mutta MBK:aa muuttavien, tekijöiden vaihtelulle vähenee huomattavasti, mittaustarkkuus paranee ja mittauksia voidaan tehdä suuremmilla karkaisusyvyyksillä.

Mittauskohteeseen muodostetaan MBK:aa aiheuttava muuttuva magneettikenttä siten, että mitattava kohina syntyy pääosin karkaistumattomassa alueessa ja aiheutuvaa MBK:aa mitataan tunnetun tekniikan mukaisella anturilla. Näytettä ei siis magnetoida lähelle kyllästysmagnetoitumaa. Mitattu MBK muunnetaan esim. FFT:n (Fast Fourier Transform) avulla taajuustasoon ja mitatun MBK:n energiaa kuvaava arvo määritetään esim. integroimalla mitattu MBK taajuustasossa sopivan taajuuskaistan yli. MBK:n energiaa kuvaavan arvon perusteella määritetään lopuksi mittauskohteen karkaisusvyvyys. Ennen karkaisusyvyyden määrittämistä mitatusta kohinasta vähennetään nolla magnetointivirralla mitattu elektroniikan oma taustakohina.

Karkaisusvyvyys voidaan määritellä esim. aiemmin luodun taulukon tai kaavan avulla, joka on määritelty koemittauksien avulla. Koemittauksissa voidaan määritellä MBK:n energiaa kuvaavan arvon ja karkaisusyvyyden korrelaatio tietyn tuotteen, kuten teräslevyn, osalta. Koemittaukset voidaan suorittaa esim. mittaamalla ensin koe-erän tuotteiden MBK:n energiaa kuvaavat arvot keksinnön mukaisella menetelmällä ja sitten

tuotteiden karkaisusyvyydet vastaavissa kohdissa esim. jollakin mekaanisella menetelmällä. Koe-erässä on syytä olla eri karkaisusyvyyden omaavia tuotteita ja koe-erän on syytä olla tarpeeksi iso, jotta korrelaatiokäyrä olisi luotettava.

5 Integroitavan taajuuskaistan alaraja asetetaan mahdollisimman lähelle mittaushetkeen muodostetun muuttuvan magneettikentän taajuutta eli esim. välille 1 – 200 Hz, koska vain riittävän matalilla taajuuksilla saadaan informaatiota karkaistun kerroksen alapuolelta. Integroitavan taajuuskaistan yläraja taas asetetaan siten, että mittaushetken pintakerroksesta tulevaa korkeataajuisempaa MBK:aa ei sisällytetä integrointiin enempää kuin välttämätöntä.

10 Täsmällisemmin sanottuna keksinnön mukaiselle teräksen karkaisusyvyyden mittaushetkelle on tunnusomaista se, mikä on esitetty patenttivaatimuksen 1 tunnusmerkkiosassa.

15 Täsmällisemmin sanottuna keksinnön mukaiselle teräksen karkaisusyvyyden mittaushetkelle on tunnusomaista se, mikä on esitetty patenttivaatimuksen 11 tunnusmerkkiosassa.

Keksinnön avulla saavutetaan huomattavia etuja.

Keksinnön mukaisen menetelmän avulla teräksen karkaisusyvyyttä voidaan mitata tarkemmin kuin tunnetun tekniikan mukaisilla menetelmillä.

20 Edullisissa sovellusmuodoissa magnetointikämin magnetointivirta pyritään säätämään siten, että magneettikentän voimakkuus ylittää karkaistumattoman teräksen koersitiivivoiman mutta ei ylitä karkaistun osan koersitiivivoimaa. Toisin sanoen magneettikentän voimakkuus ei ylitä karkaistun pintakerroksen koersitiivivoimaa mutta ylittää karkaistun pintakerroksen alla olevan karkaistumattoman teräksen koersitiivivoiman. Kun magneettikentän voimakkuus ei ylitä koersitiivivoimaa,

25 alkeisalueiden seinämien irreversiibelit muutokset ovat huomattavasti vähäisempiä kuin magneettikentän ylittäessä koersitiivivoiman. Vastaavasti MBK on vähäisempää kun alkeisalueiden kokomuutokset ovat pienempiä ja harvalukuisempia. Lisäksi pienillä kentänvoimakkuuksilla magnetointimuutokset ovat reverssiibelejä, jolloin ei synny Barkhausen kohinaa. Tällä tavoin voidaan vähentää pintakerroksen karkaisuasteeseen

30 liittymättömien ominaisuuksien aiheuttamaa MBK:aa. Tämänlaisia ominaisuuksia ovat

esim. pintajännityksen ja hiilipitoisuuden vaihtelut. Tämän seurauksena mittausmagnetometriin kytkeytyy vähemmän epäolennaista, mittauksen korrelaatiota huonontavaa, karkaisusyvyyteen liittymätöntä MBK:aa ja mittaustarkkuus paranee. Mittaustarkkuutta parantaa myös se, että karkaisusyvyys määritetään

5 karkaistumattomasta alueesta tulevan MBK:n kokonaisenergian avulla eikä vain kohinapiikin amplitudiin perustuen kuten tunnetussa tekniikassa.

Edullisissa sovellusmuodoissa FFT-muunnoksen näytteenottotaajuus ja magnetointitaajuus synkronoidaan verkkotaajuuteen. Synkronoinnin seurauksena signaalia voidaan mitata sellainen aika, joka on kummankin häiriön ja niiden harmonisten komponenttien

10 jaksojen monikerta. Tällöin häiriöpiikit ovat ideaalisen kapeita eli sisältävät taajuusalueessa vain yhden pisteen ja helposti poistettavissa taajuusspektristä. Tämän ansioista analyysitaajuusalue voidaan aloittaa suhteellisesti lähempää magnetointitaajuutta kuin tunnetun tekniikan mukaisissa mittauksissa, mikä parantaa mittaustarkkuutta ja mahdollistaa suurempien karkaisusyvyyksien mittaamisen.

15 Magnetointitaajuudella tarkoitetaan magnetointikelan aiheuttaman muuttuvan magneettikentän taajuutta. Verkkotaajuudella taas tarkoitetaan mittauslaitteiston läheisyydessä olevan sähköverkon taajuutta eli yleensä kansallisen sähköverkon taajuutta, joka on tyypillisesti 50 tai 60 Hz. Näytteenottotaajuudella tarkoitetaan mittausdatasta poimittavien näytteiden lukumäärää aikayksikköä kohti. Mikäli

20 näytteenottotaajuus on esim. 100 Hz mittausdatasta voidaan poimia esim. ajanhetkeä t sekuntia vastaava mittaussarvo, ajanhetkeä $(t + 1/100)$ s vastaava mittaussarvo, ajanhetkeä $(t + 2/100)$ s vastaava mittaussarvo jne.

Edullisissa sovellusmuodoissa myös mittaускаistan yläraja asetetaan tasolle, jolla mahdolliset pintakerroksen ominaisuuksien vaihtelut aiheuttavat mahdollisimman

25 pienen virheen karkaisusyvyyden mittaustulokseen. Mittaustaajuuskaista voi olla esim. 100 – 1200 Hz.

Korkeilla taajuuksilla magnetointikelan magneettikenttä ahtautuu lähemmäs mittausskohteen pintaa, jolloin karkaistumattomaan kerrokseen yltävä magneettikenttä on heikompi ja näin ollen aiheutuva MBK on vähäisempää. Esimerkiksi 50 kHz:n

30 taajuudella tunkeutumisvyvyys teräksessä on vain noin 60 μm . Tämän vuoksi edullisissa sovellusmuodoissa magnetointitaajuus säädetään alhaiseksi, esim. välille

0,1 - 10 Hz, jotta magneettikenttä tunkeutuu riittävän syvälle tutkittavaan teräkseen, ts. karkaistumattomaan kerrokseen asti. Matalilla magnetoititaajuuksilla mittausmagnetometriin kytkeytyvä magnetoitivuon on pienempi. Näin ollen mittausmagnetometriin indusoituvasta jännitteestä on helpompaa suodattaa pois magnetoitikelan aiheuttamat magnetoititaajuinen signaali ja magnetoititaajuuden monikertojen signaalit. Myös Barkhausen kohina pienenee kuitenkin melko voimakkaasti magnetoititaajuuden pienetessä. Tämä selitetään johtuvan siitä, että magnetoitumisprosessiin osallistuvien Blochin seinämien määrä kappaleessa tietyllä vuontiheydellä on verrannollinen magnetoititaajuuden neliöjuureen. Alkeisalueiden välisten seinämien lukumäärän vähentyessä myös Barkhausen kohina pienenee. Näistä syistä johtuen edullisissa sovellusmuodoissa mittauksissa käytetään matalille taajuuksille optimoitua anturia sekä vähäkohinaista esivahvistinta. Signaalikohinasuhteen maksimoimiseksi esivahvistin on sijoitettava anturin yhteyteen.

Edullisissa sovellusmuodoissa mitattavan kohteen karkaistumattoman ja karkaistun materiaalin magneettiset ominaisuudet, kuten koersitiivivoiman suuruus, voidaan tarvittaessa määrittää ja mittausjärjestelmä virittää tämän perusteella. Magneettikentän voimakkuuden säätämisen helpottamiseksi mittausanturiin voidaan asentaa Hall-anturi, joka mittaa näytteen pinnan suuntaisen magneettikentän voimakkuutta. Magnetoitivirran paras arvo voidaan etsiä myös kokeellisesti ilman tarkkaa tietoa materiaalien koersitiivivoimista tai muista magneettisista ominaisuuksista. Apuna käytetään magnetoitivuon ja magnetoitivuotiheyden suuruutta mittaavaa kela-anturia, joka on käämitty magnetoitisydämen ympärille. Magnetoitivirran lopulliseksi arvoksi valitaan karkaisusyvyyden kanssa parhaan korrelaation antava arvo. Karkaisusyvyyden mittaus on syytä suorittaa sellaisessa tuotteen käsittelyn vaiheessa, jossa karkaistun ja karkaistumattoman osuuden koersitiivivoimien ero on suurin. Mittausjärjestelmää kalibroitaessa ja säädettäessä on myös syytä käyttää useita näytteitä.

Keksintöä tarkastellaan seuraavassa esimerkkien avulla ja oheisiin piirustuksiin viitaten. Tekstissä esiintyvät numeroarvot ovat ohjeellisia ja viittaavat toteutettuihin ratkaisuihin. Mittauskohteesta riippuen mainittujen parametrien arvot saattavat vaihdella huomattavasti enemmänkin.

Kuvio 1 esittää poikkileikkauksena anturia, jota voidaan käyttää keksinnön mukaisessa menetelmässä ja järjestelmässä.

Kuvio 2 esittää lohkokaaavana keksinnön mukaista mittausjärjestelmää.

Kuvio 3 on esimerkinäytteen karkaistun ja karkaistumattoman osan hystereesikäyrät, joihin on merkitty vastaavat koersitiivivoimat.

- 5 Kuvio 4 on kuvion 3 esimerkinäytettä vastaavassa näytteessä saturaatiomagnetoinnilla muodostuvan MBK:n kuvaaja, johon on merkitty kuviota 3 vastaavat koersitiivivoimat sekä esimerkit keksinnön mukaisista magnetointi-intervalleista.

Kuviossa 1 esitetty anturi 6 käsittää suojakotelon 1, magnetointisydämen 2, ja magnetometrin sydämen 3.

Magnetointisydämen mitat voivat olla esim. seuraavanlaiset:

10	Kokonaiskorkeus	30 mm
	Kokonaisleveys	25 – 34 mm
	Paksuus	13 – 20 mm
	Kärkien leveys	8 – 12 mm
	Kärkien sisäreunan korkeus	17 – 18 mm

- 15 Magnetointisydämen ympärillä on magnetointikäämitys, jota ei ole esitetty kuviossa. Magnetointikäämityksen kierroslukumäärä voi olla esim. 200 – 250 kierrosta ja käämityslangan halkaisija esim. 0,4 – 0,45 mm. Magnetointikelan sydän voi olla esim. Philipsin 3C80-ferriittiä, jonka permeabiliteetti on n. 2000. Yllä olevilla mitoituksilla magnetointikäämin resistanssi on tällöin n. 2 – 3 Ω taajuuden ollessa 0 – 10 Hz.
- 20 Magnetointisydämen ympärillä on myös magnetointivuota mittaava käämitys, jota ei ole esitetty kuviossa. Vuokelan käämitys voi olla symmetrinen häiriötasojen pienentämiseksi, esim. 10 + 10 kierrosta väliulosotolla, joka on kytketty anturin elektroniikan maapotentiaaliin.

- 25 Magnetometri optimoidaan matalille taajuuksille. Matalilla taajuuksilla kela-magnetometrin signaalikohinasuhde kasvaa kelan langoituksen kuparimäärän kasvaessa, joten magnetometri pyritään mitoittamaan suhteellisen suureksi. Magnetometrin sydän voi olla esim. 10 – 13 mm paksu, 6 – 10 mm korkea ja kapeimmalta kohdaltaan 3 – 5 mm leveä. Magnetometrin käämityksen kierroslukumäärä voi olla esim. 1000 – 4000 kierrosta ja käämityslangan halkaisija esim. 0,04 – 0,06 mm. Magnetometrin käämitystä ei ole esitetty kuviossa. Kapasitiivisten häiriöiden pienentämiseksi magnetometrin
- 30

käämitys on symmetrinen ja kelan väliulosotto on kytketty anturin elektroniikan maapotentiaaliin. Magnetometrin sydämen tulee olla vähäkohinaista esim. Philipsin 3C80-ferriittiä. Yllä olevilla mitoituksilla magnetometrin resistanssi on n. 100 – 400 Ω taajuuden ollessa 0 – 1000 Hz.

- 5 Suojakotelon sisällä on lisäksi matalakohinainen, differentiaalinen esivahvistin, jolla vahvistetaan mittaussignaaleja. Esivahvistinta ei ole esitetty kuviossa 1. Mittauskelan matala impedanssitaso rajoittaa esivahvistimessa käytettävien operaatiovahvistimien valintaa. Paras sovitus kohinamielessä saavutetaan kun vahvistimen optimi-impedanssi, eli ekvivalentin jännite- ja virtakohinan suhde, $Z_{opt} = e_n / i_n$ ja mittauskelan impedanssi
- 10 ovat yhtä suuria. Esivahvistimessa voidaan käyttää esim. Analog Devices Inc. valmistamaa AD797 operaatiovahvistinta tai Linear Technology Inc. valmistamaa LT1028 Ultra Low Noise Precision High Speed Operational Amplifier operaatiovahvistinta. Esivahvistin voidaan toteuttaa differentiaalisella instrumentointi-
- 15 vahvistinkytkenällä, jossa differentiaalisen esiasteen laskennallinen vahvistus on esim. 67 ja toisen asteen 50, jolloin kokonaisvahvistus on n. 3350. Mittauskaistan rajoittamiseksi vahvistinasteiden väliin voidaan toteuttaa ensimmäisen kertaluvun kaistanpäästösuodatin, jonka -3 dB:n kulmataajuudet ovat n. 146 Hz ja 1300 Hz. Kais-
- 20 tanpäästösuodatin pienentää laskettua vahvistusta niin, että vahvistus päästökaistan keskellä on n. 2200. Esivahvistimen jännitekohina voi olla noin 2,0 – 4,0 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ja virtakohina noin 7 – 10 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$. Kokonaiskohinataso mittauskaistalla voi olla välillä 3,5 – 5,0 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$, kun mittauskelan kohinan osuus on noin 1,5 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$.

- Mittausanturi ja esivahvistin on suunniteltava siten, että magnetointikelan aiheuttaman magneettikentän magnetometriin indusoima jännite ei saturoi esivahvistinta eli aiheuta ns. leikkaantumista. Erityisesti on varottava magnetointisignaalin suoraa kytkeytymistä
- 25 esivahvistimeen.

- Suojakotelon 1 sisällä on myös oma esivahvistin magnetointivuon ja magnetointivuontiheyden mittaamiseksi. Mitattu signaali on verrannollinen vuon aikaderivaattaan, josta integroimalla lasketaan tehollinen vuonarvo ja vuontiheyden maksimi-arvo. Integrointi ja laskenta suoritetaan numeerisesti analyysiohjelmassa.
- 30 Kuvion 2 mukainen järjestelmä käsittää PC-tietokoneen 4, mittauselektroniikan 5 ja anturin 6. PC-tietokone käsittää edelleen monikanavaisen A/D- ja D/A-muunninkortin

sekä ohjelmiston, jolla voi FFT-muuntaa, muokata ja analysoida mittausdataa. Ohjelmistolla voidaan suorittaa FFT-muunnos halutulla taajuusalueella, poistaa mittausdatasta häiriöitä ja laskea karkaisusyvyyden määrittämisessä tarvittavat suureet. Mittauselektroniikka käsittää edelleen synkronointipiirin 7, magnetointivuon-

5 mittauspiirin 8, magnetointivirranmittauspiirin 9, magnetointipiirin 10 ja MBK-mittauspiirin 11. Anturi 6 käsittää edelleen magnetointivuota mittaavan anturin esivahvistimiseen 12, magnetointikelan 13 ja MBK-anturin 14, joka käsittää myös pienikohinaisen esivahvistimen.

10 Synkronointipiiri 7 antaa tietokoneen 4 A/D ja D/A muunninkortille tahdistussignaalin, jolla muunninkortin kellopiirit tahdistetaan sähköverkon 15 taajuuteen. Synkronointipiiri luo tahdistussignaalin PLL-piirin (Phase Locked Loop) ja ohjelmoitavan jakajapiirin avulla verkkojännitteestä. Lisäksi synkronointipiirin 7 kautta kulkevat ohjaus- ja mittaussignaalit tietokoneen 4 A/D ja D/A-muunninkortin ja mittauselektroniikan 5 välillä.

15 Magnetointivuonmittauspiiri 8 vastaanottaa magnetointivuota mittaavalta anturilta 12 differentiaalisien signaalien. Piiri muuntaa symmetrisen signaalin epäsymmetriseksi signaaliksi, alipäästösuodattaa sen häiriöiden poistamiseksi ja muuntaa sen jälleen symmetriseksi signaaliksi, joka syötetään tietokoneen 4 A/D ja D/A-muunninkortille synkronointipiirin 7 kautta.

20 Magnetointivirranmittauspiirissä 9 magnetointikelan läpi kulkeva magnetointivirta mitataan johtamalla virta pieniohmisen nelinapavastuksen läpi ja mittaamalla ja vahvistamalla vastuksen yli muodostuvaa jännitettä.

25 Magnetointipiiri 10 vastaanottaa synkronointipiirin 7 kautta tietokoneen 4 A/D ja D/A-muunninkortilta sinisignaalin, joka alipäästösuodatetaan, vahvistetaan ja haluttaessa muutetaan symmetriseksi ja johdetaan anturin 6 magnetointikelaan 13. Tietokoneella 4 magnetointivirtaa voidaan haluttaessa säätää mitattujen magnetointivirran ja magnetointivuon avulla siten, että magnetointivuon amplitudi asettuu haluttuun vakioarvoon mitattavasta kohteesta riippumatta. Lisäksi magnetointipiiri 10 syöttää anturin 6 esivahvistimille niiden tarvitsemat käyttöjännitteet.

30 MBK-mittauspiiri 11 vastaanottaa MBK-anturilta 14 elektroniikan maapotentiaalin suhteen symmetrisen, differentiaalisien signaalien. Signaalia vahvistetaan ja piiri muuntaa

symmetrisen signaalin epäsymmetriseksi signaaliksi, alipäästösuodattaa sekä ylipäästösuodattaa sen häiriöiden poistamiseksi ja muuntaa sen jälleen symmetriseksi signaaliksi, joka syötetään tietokoneen 4 A/D ja D/A-muunninkortille synkronointipiiriin 7 kautta.

- 5 Magnetointivuota mittaava anturi 12 käsittää mittauskelan, joka on käämitty magnetointisydämen ympärille. Symmetrisesti mitattu differentiaalinen signaali vahvistetaan esivahvistimella anturissa 6 ja syötetään differentiaalisena magnetointivuonmittauspiiriin 8. Magnetointivuonmittauspiirissä 8 signaalia vahvistetaan edelleen, se muutetaan epäsymmetriseksi ja suodatetaan alipäästösuodattimella. Lopuksi signaali
10 muutetaan takaisin symmetriseksi ja syötetään synkronointipiiriin 7 kautta tietokoneen 4 A/D ja D/A-muunninkortille.

Magnetointikela 13 ja MBK-anturi 14 ovat kuvion 1 ja sen selityksen mukaisia. MBK-anturin 14 esivahvistin syöttää differentiaalimuotoista mittaussignaalia MBK-mittauspiiriin 11.

- 15 Koko laitteisto 4 – 6 on suojattu häiriöiltä mahdollisimman hyvin, esim. optoeristuksen, maadoituksen ja suojauksen avulla. Lisäksi kaikki signaalit tuodaan mittauselektroniikkaan 5 elektroniikan maapotentiaalin suhteen symmetrisinä.

Mittaus suoritetaan esim. seuraavasti:

- 20 I. Tietokoneella 4 mittauselektroniikkaa 5 ohjataan siten, että magnetointikelaan muodostuu esim. 0,1 – 10 Hz taajuinen sinimuotoinen vakioamplitudinen magnetointivirta. Magnetointivirta pyritään säätämään siten, että magnetointikelan teräskappaleeseen muodostaman magneettikentän amplitudi ei ylitä mitattavan kohteen karkaistun osan koersitiivivoimaa mutta ylittää mitattavan kohteen karkaistumattoman osan koersitiivivoiman.
- 25 II. MBK-anturin 14 magnetometriin indusoituva jännitesignaali esivahvistetaan ja kaistanpäästösuodatetaan halutun mittauskaistan mukaisesti ja syötetään MBK-mittauspiirille 11. MBK-mittauspiirissä signaali edelleen alipäästösuodatetaan korkeataajuisen häiriösignaalien poistamiseksi. Vastaavasti signaali ylipäästösuodatetaan matalataajuisen häiriöiden kuten magnetointikelan
30 magneettikentän indusoimien häiriöiden pienentämiseksi. Suodatusten jälkeen

mittaussignaali muutetaan differentiaaliseen muotoon ja syötetään synkronointipiiriin 7 kautta tietokoneen 4 A/D ja D/A-muunninkortille.

III. Tietokone 4 vastaanottaa MBK-mittauspiirin 11 lähettämän signaalin synkronointipiiriltä 7 ja suorittaa FFT-muunnoksen ohjelmistonsa avulla. Muunnoksen näytteenottotaajuus ja magnetointitaajuus synkronoidaan sähköverkon taajuuteen synkronointipiiriltä saatavan signaalin avulla.

IV. FFT-muunnettu mittausdata integroidaan esim. taajuuskaistan 100 – 1200 Hz yli tietokoneen 4 ohjelmiston avulla.

V. Vaiheet II. – IV. toistetaan esim. 10 – 100 kertaa pitäen anturia 6 samassa kohdassa mitattavaa kappaletta ja määritetään vaiheen IV. integrointitulosten keskiarvo.

VI. Integroinnin tuloksena saatujen arvojen keskiarvo kuvaa MBK:n energiaa integroidulla taajuuskaistalla ja tämän arvon perusteella mittauskohteen karkaisusyvyys on pääteltävissä.

Mittauksissa on tärkeää anturin hyvä kontakti mitattavaan kappaleeseen, sillä ilmaraon jääminen anturin ja mittauskohteen välille voi vuon erilaisen jakautumisen seurauksena aiheuttaa mittausvirheen. Magneettisista voimista johtuva mittausanturin värinä vaikeuttaa mittauksia. Anturin pitämiseksi paikallaan mittauksen aikana se voidaan kiinnittää näytteeseen puristimen avulla.

Mittauksissa voidaan käyttää esim. resoluutiokaistanleveyttä (Resolution Band Width) 0,52 Hz. Taajuusresoluutio valitaan siten, että alin käytetty magnetointitaajuus on noin 5 – 10 kertaa taajuusresoluutio. Tällöin häiriöpiikkien poistoon käytetty algoritmi toimii hyvin. Mittausdataa voidaan muokata myös muunlaisilla suodatus- ja/tai häiriönpoistoalgoritmeilla.

Voimakas magnetointisignaali saattaa aiheuttaa häiriöitä 100 Hz:n alapuolella, minkä vuoksi vaiheen IV. integrointi voidaan laskea esim. taajuuskaistan 100 – 1200 Hz yli.

Kuviossa 3 on esitetty esimerkinäytteen karkaistun ja karkaistumattoman osuuden hystereesikäyrät. Kuvaajassa magneettivuontiheys B karkaistussa ja karkaistumattomassa osuudessa on esitetty magneettikentän voimakkuuden H funktiona. Käyrä 31 on karkaistumattoman osuuden hystereesikäyrä ja käyrä 32 on

karkaistun osuuden hystereesikäyrä. Karkaistumattoman osuuden koersitiivivoima on esitetty katkoviivalla H_{CU} (Coercivity, Unhardened). Karkaistun osuuden koersitiivivoima on esitetty katkoviivalla H_{CH} (Coercivity, Hardened). Koersitiivivoimalla tarkoitetaan siis magneettikentän voimakkuutta, jota vaaditaan saturaatioon magnetoidun ferromagneettisen materiaalin demagnetoimiseksi eli magnetoinnin poistamiseksi. Kuten kuvaajasta ilmenee magneettivuontiheyden muutosnopeus on suurimmillaan koersitiivivoiman läheisyydessä, joten tällä alueella muodostuu eniten MBK:aa.

Kuvio 4 esittää kuvion 3 esimerkinäytettä vastaavassa näytteessä muodostuvan MBK:n, kun näytteeseen kohdistetaan muuttuva magneettikenttä, joka saturoi näytteen. Kuvaajassa MBK on esitetty jännitteinä BN (Barkhausen Noise) magneettikentän H funktiona. Kuvaaja on ainoastaan suuntaa antava, todellinen käyrä voi poiketa kuvion käyrästä huomattavasti. MBK on suurimmillaan karkaistumattoman ja karkaistun osuuden koersitiivivoimien H_{CU} ja H_{CH} kohdalla, sillä näissä kohdissa magneettivuontiheys muuttuu voimakkaasti. Keksinnön mukaan mitattavaa kohdetta pyritään magnetoimaan siten, että mahdollisimman suuri osa aiheutuvasta MBK:sta on peräisin karkaistumattomasta osuudesta. Toisin sanoen MBK:n aiheuttava muuttuva magneettikenttä säädetään siten, että mitattavan kohteen karkaistumattomassa osassa muodostuu enemmän MBK:aa kuin karkaistussa osassa. Muuttuvan magneettikentän maksimivoimakkuudeksi valitaan siis arvo, joka on korkeintaan 110% karkaistun osuuden koersitiivivoiman arvosta, jolloin suurin osa aiheutuvasta MBK:sta on peräisin karkaistumattomasta osasta. Maksimivoimakkuus valitaan siis kuviossa esitetystä intervallista 41. Toisin sanoen muuttuva magneettikenttä asetetaan esim. vaihtelevaan välillä $-H_{CH} - H_{CH}$. Edullisissa sovellusmuodoissa muuttuvan magneettikentän maksimivoimakkuus asetetaan karkaistumattoman osuuden koersitiivivoiman H_{CU} ja karkaistun osuuden koersitiivivoiman H_{CH} välille. Maksimivoimakkuus valitaan siis kuviossa esitetystä intervallista 42. Toisin sanoen muuttuva magneettikenttä asetetaan esim. vaihtelevaan välillä $-\frac{H_{CU} + H_{CH}}{2} - \frac{H_{CU} + H_{CH}}{2}$.

Keksinnön puitteissa voidaan ajatella myös yllä kuvatuista sovellusmuodoista poikkeavia ratkaisuja.

- Magnetointikelan magnetointivirran amplitudia suurentamalla magneettivuo saadaan tunkeutumaan syvemmälle mitattavaan kohteeseen, jolloin voidaan mitata suurempia karkaisusyvyyksiä. Karkaistumattoman teräksen magneettinen permeabiliteetti on yleensä karkaistua huomattavasti suurempi. Tämän johdosta magnetoiva vuo pyrkii konsentroitumaan karkaistumattomaan kerrokseen ja magnetivuontiheys voi olla esim. kaksinkertainen karkaistuun kerrokseen verrattuna. Magnetivuontiheys on primäärinen alkeisalueiden dynamiikkaan vaikuttava suure, joten vuon konsentroituminen edesauttaa patentissa kuvatun mittaustavan toteuttamista.
- MBK-anturina 14 voidaan käyttää esim. Hall-magnetometriä, kelaa tai mitä tahansa muuta anturia, jolla voidaan mitata magneettikentän voimakkuutta, magneettivuota tai näiden johdannaissuureita. MBK-anturi 14 voidaan myös sijoittaa esimerkiksi poikkeavalla tavalla. Anturi voidaan asettaa esim. magnetointikelasta nähden mittauskohteen, kuten levyn, toiselle puolelle. Anturi voidaan sijoittaa eri kulmiin ja eri kohtiin mittauskohteeseen nähden tai magnetointikelan kärkiin nähden.
- Hyvin suojatussa ja suunnitellussa karkaisusyvyyden mittaussysteemissä häiriöt kytkeytyvät anturiin pääasiassa mittauskelan kautta joko magneettisesti tai kapasitiivisesti. Mittauksissa suurimmat magneettiset häiriöt aiheutuvat sähköverkon ja magnetointitaajuuden kerrannaisista ja niiden sekoitustuloksista. Sähköverkon 50 Hz:n monikertojen pienentämiseksi suojaus on tehtävä huolellisesti ja on etenkin estettävä häiriön kytkeytyminen magnetointikelan kautta teräkseen ja edelleen mittauskelaan. Teräksen kautta kytkeytyvät voimakkaimmin parittomat harmoniset. Magnetointivirran suodatus tehdään laitteen elektroniikkaosassa, joten paljon tilaa vieviä komponentteja ei tarvitse mahdollistaa itse mittausanturiin. Myös mittausanturin kaapeli on suojattava hyvin.
- Magnetointiharmoniset ovat matalilla taajuuksilla tehtäviä mittauksia voimakkaimmin häiritsevä tekijä. Pienemmillä magnetointitaajuuksilla kuten 0,001 – 1 Hz magnetointitaajuuksilla häiriöt 100 Hz:n mittaustaajuudella ovat pieniä. Toisaalta mittaussignaalin voimakas pieneneminen rajoittaa magnetointitaajuuden pienentämistä.
- Mittauskohteen potentiaalin vaihtelu anturin elektroniikan maapotentiaaliin nähden aiheuttaa kapasitiivisesti kytkeytyvän häiriön, koska etuvahvistimen yhteismuotovaimennus on äärellinen. Häiriön pienentämiseksi mittauskohde tulisi maadoittaa anturin

läheltä siten, että maadoituskontaktin kautta kulkevat häiriövirrat eivät aiheuta magneettikenttää signaalikehään. Kapasitiivisesti kytkeytyvien häiriöiden vaimentamiseksi mittauskelan "keskipiste" voidaan kytkeä anturin elektroniikan maapotentiaaliin. Toisin sanoen mittauskelan kääminlanka maadoitetaan langan puolella välissä.

Mittausanturin suojakotelo, kaapelin vaippa ja muun elektroniikan kotelo muodostavat yhtenäisen Faradayn suojan, joka on turvallisuussyistä kytketty suojamaahan. Elektroniikan maa on kytketty etuvahvistinkortilla suojaan yhdestä pisteestä. Muuntajan ensiön ja toision välillä on kapasitiivinen suoja, joka on kytketty koteloon. Etuvahvistimen signaali otetaan elektronikassa vastaan differentiaalisesti tai virtaviestinä.

Myös magnetointivirransyöttö voidaan symmetrisoida kapasitiivisten häiriöiden vaimentamiseksi.

Signaalikohinasuhteen parantamiseksi Barkhausen signaalia voitaisiin käsitellä vain niiltä aikajaksoilta, joilla signaalia on odotettavissa. Toisin sanoen MBK:aa mitattaisiin vain silloin kun alkeisalueiden koonmuutokset ovat suhteellisen suuria.

Keksinnön mukaista menetelmää voidaan käyttää myös muiden ferro-, tai ferrimagneettisten aineiden karkaisusyvyyden mittaamiseen.

Keksinnön mukaista menetelmää on myös mahdollista soveltaa muiden ominaisuuksien, kuten raudan mikrorakenteen, koostumuksen tai materiaalivirheiden, määrittämiseen.

Magnetointitaajuus voidaan asettaa esim. välille 0 – 5 Hz, 1 – 5 Hz, 1 – 3 Hz, 3 – 5 Hz, 2 – 4 Hz, 3 – 7 Hz, 5 – 7 Hz, 5 – 10 Hz tai 4 – 8 Hz. Magnetointitaajuus voi myös olla 1,192 Hz, alle 10Hz, alle 20Hz tai alle 200 Hz.

Taajuuskaista, jonka yli taajuustasoon muunnettua MBK-signaalia integroidaan kohinan energiaa kuvaavan arvon määrittämiseksi voi olla esim. 200 – 1200 Hz, 200 – 1220 Hz, 130 – 1400 Hz tai 76 – 1220 Hz. Mittauselektronikassa 5 käytetyt suodattimet voidaan myös määritellä rajaamaan mittauskaista yllä mainittujen taajuuskaistojen mukaisesti esim. kaistanpäästösuodattamalla MBK-signaali yllä mainittujen taajuuskaistojen mukaisesti.

Patenttivaatimukset:

1. Menetelmä ferro-, tai ferrimagneettisen aineen karkaisusyvyyden määrittämiseksi, jossa menetelmässä

- luodaan mitattavaan kohteeseen muuttuva magneettikenttä,
- 5 - mitataan muuttuvan magneettikentän aiheuttamaa magneettista Barkhausen kohinaa, joka on peräisin mitattavasta kohteesta, ja
- määritetään mitatun kohinan energiaa kuvaavaa arvo esim. integroimalla tai summaamalla, ja
- määritetään mitattavan kohteen karkaisusyvyys kohinan energiaa kuvaavan arvon perusteella.

tunnettu siitä, että

- mitattavaan kohteeseen luotava muuttuva magneettikenttä säädetään siten, että magneettikentän maksimivoimakkuus on korkeintaan 110% mitattavan kohteen karkaistun osuuden koersitiivivoiman arvosta.

15 2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä tunnettu siitä, että mitattu kohinasignaali muunnetaan taajuustasoon esim. diskreetti aikaisen Fourier-muunnoksen kuten FFT-muunnoksen avulla.

3. Patenttivaatimuksen 2 mukainen menetelmä tunnettu siitä, että mitatun kohinan energiaa kuvaava arvo määritetään integroimalla taajuustasoon muutettua kohinasignaalia tietyn taajuuskaistan kuten 10 – 1200 Hz yli.

20 4. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 3 mukainen menetelmä tunnettu siitä, että mitattavan kohteen karkaisusyvyys määritetään kohinan energiaa kuvaavan arvon perusteella taulukon tai kaavan avulla, joka on määritelty koemittauksien avulla.

25 5. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 4 mukainen menetelmä tunnettu siitä, että mitattavaan kohteeseen luotava muuttuva magneettikenttä säädetään siten, että magneettikentän maksimivoimakkuus ei ylitä mitattavan kohteen karkaistun osuuden koersitiivivoimaa mutta ylittää mitattavan kohteen karkaistumattoman osuuden koersitiivivoiman.

6. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 4 mukainen menetelmä tunnettu siitä, että mitattavaan kohteeseen luotava muuttuva magneettikenttä säädetään siten, että magneettikentän maksimivoimakkuus on korkeintaan 105% mitattavan kohteen karkaistun osuuden koersitiivivoiman arvosta.
- 5 7. Jonkin patenttivaatimuksen 2 - 6 mukainen menetelmä tunnettu siitä, että
- mitattu kohinasignaali muunnetaan taajuustasoon diskreetin Fourier-muunnoksen kuten FFT-muunnoksen avulla, ja
 - mittauksessa ja muunnoksessa käytettävä näytteenottotaajuus ja mitattavaan kohteeseen luodun muuttuvan magneettikentän taajuus on olennaisesti synkronoitu verkkotaajuuteen, ja
 - 10 - mittausaika on olennaisesti verkkotaajuutta ja mitattavaan kohteeseen luotua muuttuvan magneettikentän taajuutta vastaavien periodien monikerta.
8. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 7 mukainen menetelmä tunnettu siitä, että mitattavaan kohteeseen luodun muuttuvan magneettikentän taajuus on alle 10 Hz.
- 15 9. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 7 mukainen menetelmä tunnettu siitä, että mitattavaan kohteeseen luodun muuttuvan magneettikentän taajuus on alle 20 Hz.
10. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 9 mukainen menetelmä tunnettu siitä, että muuttuvan magneettikentän aiheuttamaa magneettista Barkhausen kohinaa mitataan kela-anturilla, joka on optimoitu matalille taajuuksille eli esim. 10Hz - 2 kHz.
- 20 11. Järjestelmä ferro-, tai ferrimagneettisen aineen karkaisusyvyyden määrittämiseksi, joka järjestelmä käsittää
- magnetointikelan (13) muuttuvan magneettikentän muodostamiseksi mitattavaan kohteeseen,
 - anturin (14) mitattavasta kohteesta peräisin olevan magneettisen Barkhausen kohinan, joka aiheutuu muuttuvasta magneettikentästä, mittaamiseksi,
 - 25 - laitteiston (4), joka on järjestetty määrittämään mitatun magneettisen Barkhausen kohinan energiaa kuvaavan arvon ja määrittämään mitattavan kohteen karkaisusyvyyden tämän arvon perusteella

tunnettu siitä, että järjestelmä käsittää

- magnetointipiirin (10), joka on järjestetty säätämään mitattavaan kohteeseen luotavaa muuttuvaa magneettikenttää siten, että magneettikentän maksimivoimakkuus on korkeintaan 110% mitattavan kohteen karkaistun osuuden koersitiivivoiman arvosta.

5

12. Vaatimuksen 11 mukainen järjestelmä tunnettu siitä, että laitteisto (4) on järjestetty muuntamaan anturilla (14) mitatun kohinasignaalin taajuustasoon esim. diskreetin Fourier-muunnoksen kuten FFT-muunnoksen avulla.

13. Vaatimuksen 12 mukainen järjestelmä tunnettu siitä, että laitteisto (4) on järjestetty määrittämään mitatun kohinan energiaa kuvaavan arvon integroimalla taajuustasoon muutettua kohinasignaalia tietyin taajuuskaistan kuten 10 – 1200 Hz yli.

10

14. Jonkin patenttivaatimuksen 11 - 13 mukainen järjestelmä tunnettu siitä, että laitteisto (4) on järjestetty määrittämään mitattavan kohteen karkaisusyvyyden kohinan energiaa kuvaavan arvon perusteella taulukon tai kaavan avulla, joka on määriteltä koemittauksien avulla.

15

15. Jonkin patenttivaatimuksen 11 - 14 mukainen järjestelmä tunnettu siitä, että järjestelmä käsittää magnetointipiirin (10), joka on järjestetty säätämään magnetointikelaan (13) johdettavaa magnetointivirtaa ja magnetointivirran aiheuttamaa magneettikenttää, magnetointivuonmittauspiirin (8), joka on järjestetty mittaamaan magnetointikelan aiheuttamaa magnetointivuota anturin (12) avulla ja/tai magnetointivirran mittauspiirin (9), joka on järjestetty mittaamaan magnetointikelan (13) kautta kulkevaa virtaa.

20

16. Patenttivaatimuksen 15 mukainen järjestelmä tunnettu siitä, että laitteisto (4) on järjestetty säätämään magnetointikelan (13) mitattavaan kohteeseen aiheuttaman magneettikentän voimakkuuden magnetointipiirin (10), magnetointivuonmittauspiirin (8) ja/tai magnetointivirranmittauspiirin (9) avulla siten, että magneettikentän maksimivoimakkuus ei ylitä mitattavan kohteen karkaistun osuuden koersitiivivoimaa mutta ylittää mitattavan kohteen karkaistumattoman osuuden koersitiivivoiman.

25

17. Patenttivaatimuksen 15 mukainen järjestelmä tunnettu siitä, että laitteisto (4) on järjestetty säätämään magnetointikelan (13) mitattavaan kohteeseen aiheuttaman magneettikentän voimakkuuden magnetointipiirin (10), magnetointivuonmittauspiirin (8) ja/tai magnetointivirranmittauspiirin (9) avulla siten, että magneettikentän maksimivoimakkuus on korkeintaan 105% mitattavan kohteen karkaistun osuuden koersitiivivoiman arvosta.

18. Jonkin patenttivaatimuksen 15 - 17 mukainen järjestelmä tunnettu siitä, että laitteisto (4) on järjestetty säätämään magnetointikelan (13) mitattavaan kohteeseen aiheuttaman magneettikentän voimakkuuden magnetointipiirin (10), magnetointivuonmittauspiirin (8) ja/tai magnetointivirranmittauspiirin (9) avulla siten, että magnetointivuo asettuu olennaisesti vakioarvoon mitattavasta kohteesta riippumatta.

19. Jonkin patenttivaatimuksen 12 - 18 mukainen järjestelmä tunnettu siitä, että laitteisto (4) on järjestetty muuntamaan mitatun kohinasignaalin taajuustasoon esim. diskreetin Fourier-muunnoksen kuten FFT-muunnoksen avulla, ja käyttämään muunnoksessa näytteenottotaajuutta, joka on olennaisesti synkronoitu verkkotaajuuteen ja mitattavaan kohteeseen luodun muuttuvan magneettikentän taajuuteen sekä mittausaikaa, joka on olennaisesti verkkotaajuutta ja mitattavaan kohteeseen luotua muuttuvan magneettikentän taajuutta vastaavien periodien monikerta.

20. Jonkin patenttivaatimuksen 15 - 19 mukainen järjestelmä tunnettu siitä, että laitteisto (4) on järjestetty säätämään magnetointikelan (13) mitattavaan kohteeseen aiheuttaman magneettikentän taajuudeksi alle 10 Hz magnetointipiirin (10), magnetointivuonmittauspiirin (8) ja/tai magnetointivirranmittauspiirin (9) avulla.

21. Jonkin patenttivaatimuksen 15 - 19 mukainen järjestelmä tunnettu siitä, että laitteisto (4) on järjestetty säätämään magnetointikelan (13) mitattavaan kohteeseen aiheuttaman magneettikentän taajuudeksi alle 20 Hz magnetointipiirin (10), magnetointivuonmittauspiirin (8) ja/tai magnetointivirranmittauspiirin (9) avulla.

22. Jonkin patenttivaatimuksen 11 - 21 mukainen järjestelmä tunnettu siitä, että anturi (14) on kela-anturi, joka on optimoitu matalille taajuuksille eli esim. alle 1 - 2 kHz taajuuksille.

57) Tiivistelmä:

Tässä julkaisussa on kuvattu menetelmä ja järjestelmä teräksen tai muun ferromagneettisen aineen karkaisusyvyyden määrittämiseksi mitattavaa kohdetta rikkomatta. Keksinnön mukaan mitattavaan kohteeseen luodaan magnetointikelan 13 avulla muuttuva magneettikenttä, joka aiheuttaa magneettista Barkhausen kohinaa (MBK). Muuttuva magneettikenttä säädetään siten, että magneettikentän maksimivoimakkuus ei ylitä mitattavan kohteen karkaistun osan koersitiivivoimaa mutta ylittää mitattavan kohteen karkaistumattoman osan koersitiivivoiman. Aiheutuvaa MBK:aa mitataan MBK-anturin 14 avulla. Mitattu signaali suodatetaan 11 ja Fourier-muunnetaan. Taajuusalueessa signaalia integroidaan sopivan taajuuskaistan yli MBK:n energiaa kuvaavan arvon määrittämiseksi. Tämä arvo korreloi karkaisusyvyyden kanssa ja tämän arvon perusteella voidaan näin ollen määritellä karkaisusvyvyys.

(Kuvio 2)

1/4
L6

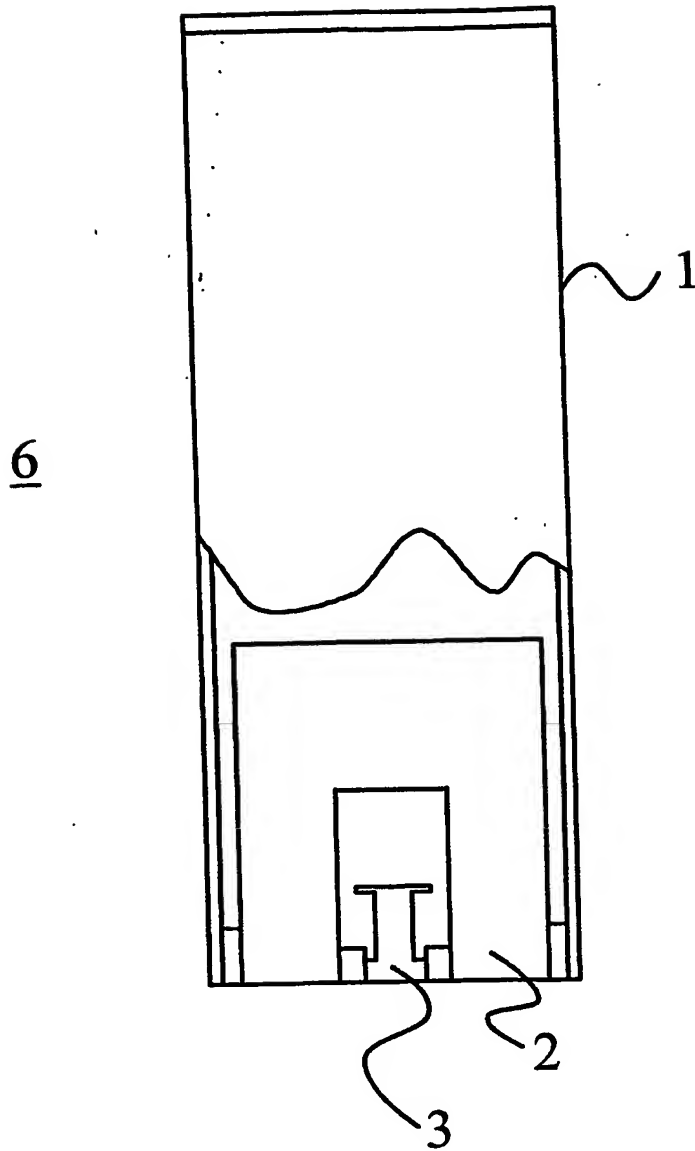


Fig. 1

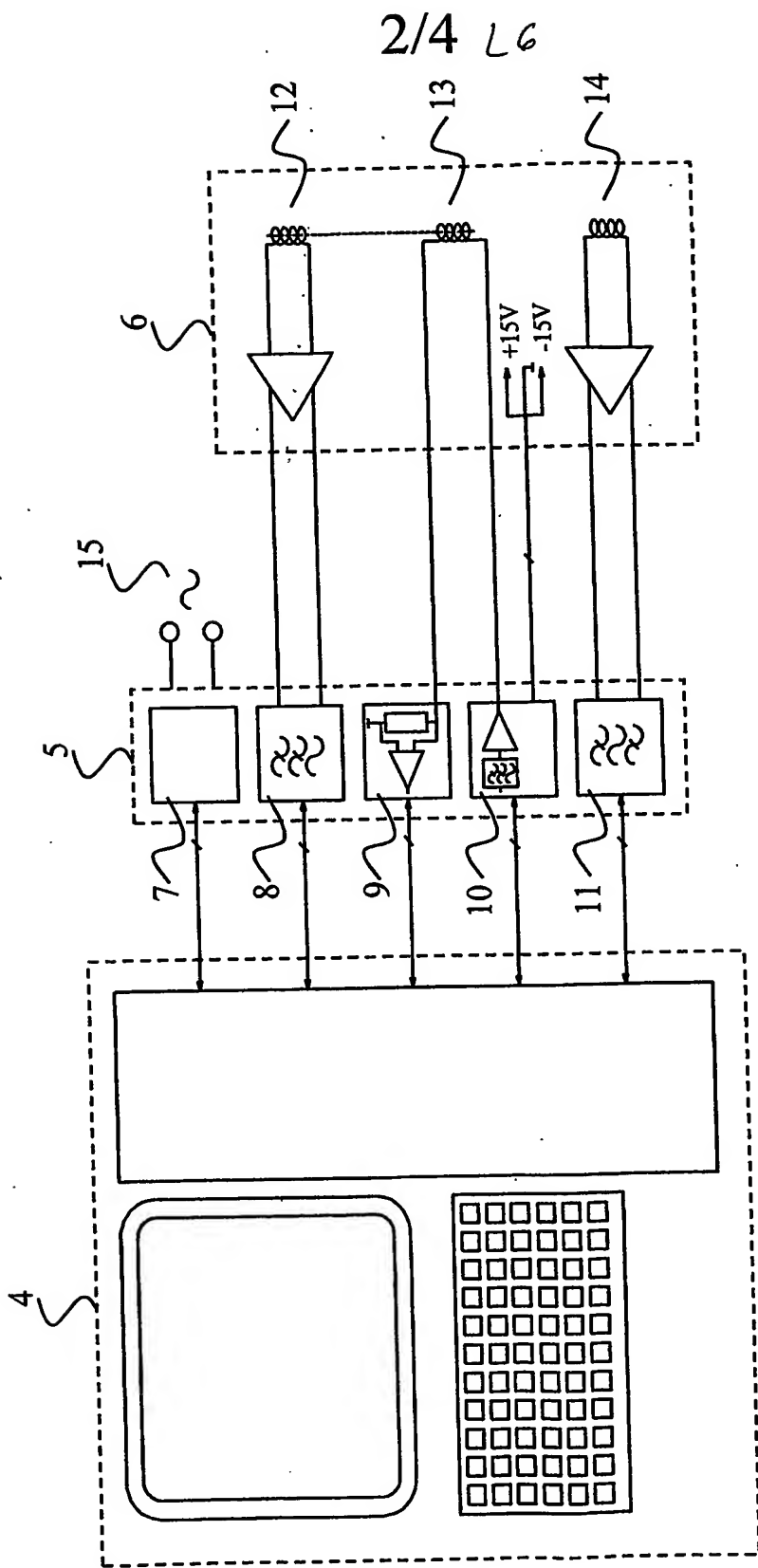


Fig. 2

3/4
L6

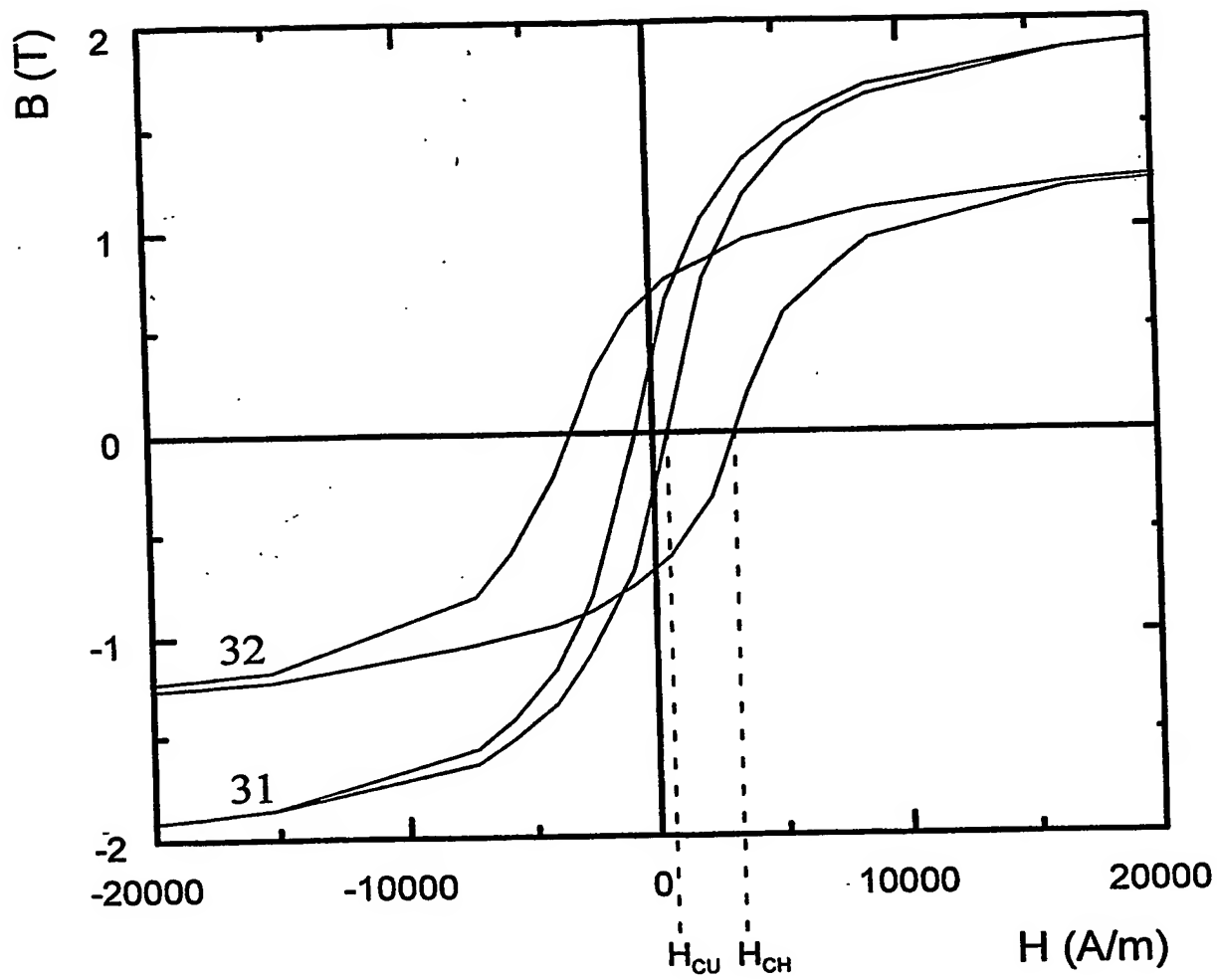


Fig. 3

4/4

L6

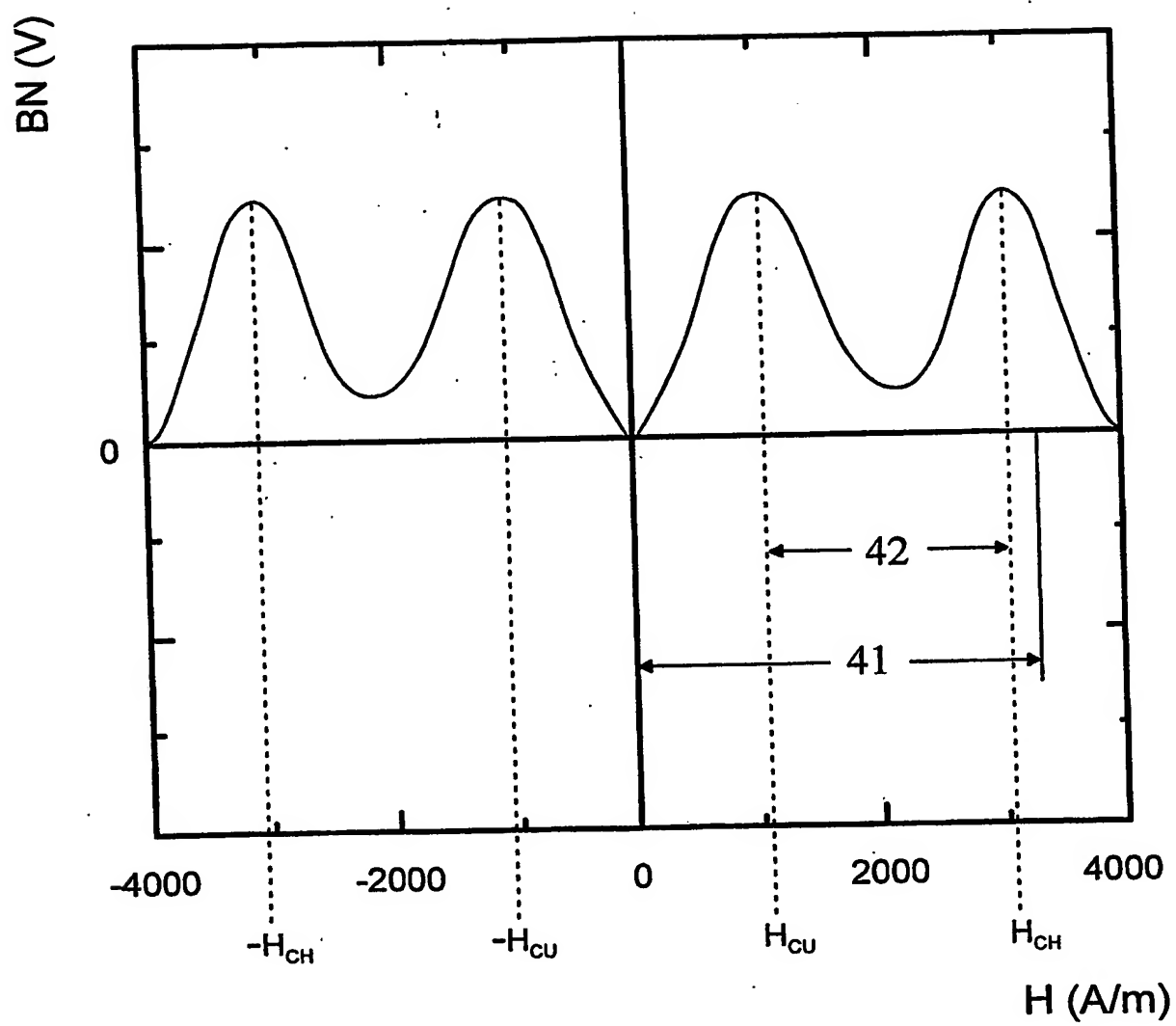


Fig. 4

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.